

A vízleadási folyamat anyagspecifikus paramétereinek kutatása egyes élelmiszer/takarmány alapanyagok mesterséges szárításának intenzifikálása céljából

Vezető kutató: Beke János DSc, OTKA-azonosító: 61480, Projekt időszak: 2006-2009.

A projekt feladat megvalósításának feltételrendszere

Tudományos előzmények

Az élelmiszer/takarmány alapanyagok további feldolgozásának egyik alapvető lépése, a nedvességtartalom megkívánt értékre való beállítása rendszerint nagy energiaigényű folyamat, amely során számos – akár egymásnak ellentmondó – szempontokra kell figyelemmel lenni. Ezek figyelembe vételével a technológiai fejlesztések új irányokba fordultak elsősorban a termékminőséget, a környezeti hatásokat és a biztonsági előírásokat tartva fő célként. Mindezek különös jelentőséget adnak az olyan terménykezelési folyamatok kutatásának, amelyek technológiai paramétereit a folyamat tárgyaként használt alapanyagok agrofizikai tulajdonságainak függvényében határozzuk meg.

Az eddig alkalmazott vízelvonási technológiák jellemzően az alkalmazott konvektív energiátranszport anyagtranszport témakörébe sorolhatók. Ezeknek az eljárásoknak a legfőbb hátrányuk az alacsony transzportintenzitás. Ennek egyik természetes oka az alapanyagok átviteli-képességének művelet közbeni csökkenése. A termékkezelési folyamat intenzifikálásához ugyanis egyértelműen tisztázni kell a kezelendő anyag fizikai, kémiai, illetve biológiai tulajdonságai által meghatározott folyamat-paramétereket.

Az eddigi elméleti és kísérletes elemzések szerint az energia- és anyagtranszport hatékonyságának fokozása nagyfrekvenciás energia alkalmazásával is lehetséges, miközben javulhat a szárítmány minősége is.

Az elméleti lehetőségek abban az esetben realizálhatók, ha a folyamat intenzitásának mértékét a céltermék megkívánt használati értékéből vezetjük le. Tudvalevő, hogy a terménykezelési folyamatban az kezelt anyag tulajdonságai részben morfológiai, részben technológiai okokra vezethetők vissza, de ezek teljes körű feltárása még további jelentős kutatási tevékenységet igényel.

A korábbi kutatómunkák bizonyították, hogy a biológiai rendszerek mint alapanyagok erősen anizotropok is, így az ipari tapasztalatok csak részben hasznosíthatók. Ebből az okból kifolyólag több évtizede kutatási téma a mezőgazdasági származású alapanyagok vízháztartásának, illetve legfontosabb agrofizikai jellemzőinek meghatározása.

Az összefoglalt előzmények figyelembevételével a kutatómunka alapvető feladataként azoknak a legfontosabb anyag-centrikus technológiai jellemzőknek a meghatározását tekintettük, amelyek az élelmiszer/takarmány alapanyagok vízelvonási folyamatában az energia- és anyagtranszport vezérlő paraméterei lehetnek. Ezen ismeretbázison lehetséges megvalósítani a számítógépes folyamatelemzést és modellalkotást, amelyekkel prognosztizálhatóvá válik az egyes alapanyagok viselkedése a termikus kezelés során.

Jellegzetes kapcsolódó irodalmak

Hukill, W. V.: Grain drying. In Storage of Cereal Grains and Their Products. J. A. Anderson and A. W. Alcock eds. Am. Assoc. Cereal Chemists, St. Paul, 1954
Brooker, D.B. - Bakker-Arkema, F.W. - Hall, C.W.: Drying and storage of grains and oilseeds. Van Nostrand Reinhold (1992), New York, N.Y.
Neményi, M., Czaba, I., Kovács, A., Jáni, T.: Investigation of simultaneous heat and mass transfer within the maize kernels during drying. Computers and Electronics, 2000. 26. 123-135. p.

A projekt kutatási eseményeinek rövid összefoglalása

A kutatómunka első évében (2006) a korábbi években elvégzett laboratóriumi és üzemi kísérletek alapján, valamint irodalmi források segítségével elemeztük a különböző energiáttranszport mellett megvalósított dehidrációs eljárásokat. A kutatócsoport témához kötődő korábbi mérési adatainak és a szakirodalmi előzmények célirányos feldolgozása során megfogalmazott konklúziók alapján megterveztük a kiegészítő laboratóriumi és üzemi méréseket.

A kutatóhely meglévő infrastruktúrájából kiindulva módosítottuk a meglévő konvektív hőközlésű modellszáritót és mikrohullámú energiaátvitelre alapozott mérőberendezést terveztünk. A tervezés során a legnagyobb problémát a disszipáló tér multimódusú jellege, illetve az ebből következő inhomogén térjellemzők okozták. Ehhez járult még az abszorbens hőmérséklettől és nedvességtartalomtól függő dielektromos állandó okozta bizonytalanság. A felmerült problémákra az alaplómódusú kezelőtér kifejlesztése adott megoldást.

A rendelkezésre álló és az összegyűjtött adatok, mérési és számítási eredmények tudományos igényű feldolgozása, valamint a szerencsésen kialakított alaplómódusú kezelőtér alkalmazása a vártnál egzaktabb eredményeket hozott. Más irányú kutató-fejlesztő megbízás keretében lehetőség nyílt egy nagyüzemi csöveskukorica-száritó részletes vizsgálatára is, amelynek adatait az OTKA által finanszírozott kutatáshoz is használni tudtuk. Ezeknek köszönhetően az eredeti munkaterv időarányos részét meghaladó mértékű publikációra és tudományos eredményre tettünk szert (impaktfaktoros folyóiratcikk, PhD értekezés).

A dehidrációs kísérletek zömét 2007 és 2009 között végeztük, kivéve a szemes kukorica kísérleteket, amelyeket 2006-ban kezdtük el. Valamennyi kísérlethez konvektív és mikrohullámú energiaközlési módokat választottunk. 2007-ben elsősorban a szemes termények (búza, árpa, zab, kukorica, szója, napraforgó), 2008-ban főleg a frekvenciáltabb gyök gumós, illetve levél/szár hasznosítású alapanyagok (burgonya, cukorrépa, sárgarépa, petrezselyemgyökér, paradicsom, fűszerpaprika, hagyma, kaporlevél, lucerna, petrezselyemlevél), 2009-ben pedig az almatermésű gyümölcsök vízleadási tulajdonságainak vizsgálatát fejeztük be.

A vállalt projektfeladat részeként kidolgozandó szimulációs modell lett a vízelvonási folyamat kutatásának egyik legérzékenyebb pontja. A modellezéssel szemben támasztott természetes igény, hogy a költséges, idő- és eszközigenyes kutatási-fejlesztési fázist a számítástechnika napról napra fejlődő eszközzrendszere segítségével racionalizáljuk. Másrészt viszont rendkívüli óvatosság szükséges az ebben a tárgykörben megjelentetett tudományos közleményeknek a kutatói, illetve a mérnöki munkában való felhasználásában. A száritásmodellezésben fellelhető szakirodalom nem elhanyagolható része ugyanis elsősorban a számítástechnika szakértőinek tollából kerül ki és előfordul, hogy az alkalmazott energia és anyagtranszport folyamatok tudományos

elemzése különféle számítógépes modellek futtatásának alkalmazási területeként funkcionál. Az ilyen szemléletben készült tanulmányokban a modellek validálása alapvetően a programfuttatás korrektségének ellenőrzésében merül ki, ilyenformán az „eszköz” „célá” alakul, a szakterület tudományos szempontjai pedig jelentősen torzulnak. A szakmai elvárásoknak megfelelő modellezés – nézetünk szerint – a vízelvonási folyamatban ható tényezők közötti ok-okozati összefüggések feltárását és azok valósághű szimulációját együttesen jelenti. Amennyiben kellően elmélyedünk a szakterület tudományos igényű vizsgálatában egyértelművé válik, hogy a szárítás rendkívül bonyolult, soktényezős processzus, amelynek elméleti alapjait gyakorlati kontroll alá kell helyezni és csak e kettős szempontrendszer helyes arányainak megtalálása esetén van esély a valóságban lejátszódó folyamatok hű szimulációjára és reális előrejelzésére. A tudományterület összetettsége és jelenlegi kutatottsági szintje mellett ezért célravezetőbbnek tartottuk a gyakorlati, illetve a félempirikus modellek alkalmazását, annak ellenére, hogy az említett módszerek a szárítási zónát részleteiben nem vizsgálják. Ehelyett viszont megfelelő körülmények között alkalmas a gyakorlati eredményeket jól közelítő technológiai paraméterek számítására.

Egyéb adatrögzítési alkalmak kihasználásával – de az OTKA kutatási munkatervet követve – lehetőség adódott a kutatás során megfogalmazott konklúziók ipari viszonyok közötti validálására. A korábbi eredményeket kiterjesztettük a cső-szem kapcsolatára és olyan tudományos igényű termikus elemzési módszert, valamint félempirikus szárítási modellt dolgoztunk ki, amely alkalmas volt a hibridszárítási technológia kalorikus és energetikai optimalására.

A mérési eredmények és a kutatócsoport által megfogalmazott konklúziók megvitatására számos szakértői konzultációt folytattunk és egy jelentős méretű nemzetközi workshop-ot rendeztünk (InterDrying Gödöllő, 2007. szept. 28-29.). A vizsgálati eredményeket tudományos konferenciákon (LOV-Corvinus, ADC07, MSZSZ, IDS-2006, -2008, -2010, AntAgEng-2006, -2008, PDS2009, Synergy2009, MTA AMB Konferencia 2007, 2008, 2010) mutattuk be és több folyóiratcikkben publikáltuk. A kutatási pályázat egyes eredményeinek felhasználásával egy akadémiai doktori és egy PhD disszertáció is készült.

A pénzügyi források felhasználásának körülményei

A kísérleti berendezés összeállításához jelentős segítséget adtak más pénzügyi források, elsősorban a szakképzési támogatások elérhetősége. Ezért a 2006. évi munkaterv teljesítéséhez a tervezettnél kisebb költségvetés is elegendőnek bizonyult. Ugyanakkor jelentős érdek is fűződött a pénzügyi tartalékolásra. Az érintett tudományterület kiemelkedő tudományos konferenciája ugyanis 2007-ben a távol keleten rendezték, ahol fokozottan indokolt volt részvételünk. Tudvalevő ugyanis, hogy Ázsia a vízelvonással, illetve az élőanyag-kutatással kapcsolatos tudományos elemzések legjelentősebb helyszíne. Következésképpen – a kiemelkedő szakmai konzultációk lehetőségén túl – a hongkongi konferencia részvétellel biztosítottuk, hogy az OTKA támogatással elért eredményeket a földrész legrangosabb kiadványaiban publikálhassuk. 2007-ben is lehetőségünk adódott kiegészítő pénzforrások bevonására és így az OTKA projekt kísérleteinek megvalósítása költségtakarékosabbá vált. Többek között ez a tény tette lehetővé, hogy a 2008-as pénzügy évre is képezhessünk bizonyos fokú tartalékot. Lehetőség volt ugyanis arra, hogy a korábbi hibridüzemi méréseket megismételjük és az OTKA támogatásával megfogalmazott kutatási eredményeket ipari méretekben ellenőrizzük és pontosítsuk. A 2007. június 4-ei OTKA felhívásra írt témavezetői levél (2007. június 15.) tartalmával összhangban a 2008-a pénzügy évre jelentős összeget

tudtunk átcsoportosítani. Ez lehetővé tette, hogy a tudományterület legrangosabb tudományos konferenciáján (2008., Hyderabad, India) és egyéb színvonalas szakmai rendezvényeken (AntAgEng2008, Antalya, Törökország) a kutatócsoportot senior és junior szinten is képviseltessük. Ennek köszönhetően két külföldi rangos folyóirattól publikálási felkérést kaptunk. Ezekkel a konferencia részvételekkel a költségvetés éves keretét az eredeti tervezésű éves előirányzathoz képest túlléptük, de az időarányos pénzfelhasználásban megtakarítást tudtunk elérni, főleg az előre nem kalkulált egyéb források rendelkezésre állásával. Ugyanakkor a hatékonyabb költségvetés érdekében végzett átcsoportosítások (amelyet az OTKA döntési jogosultságú szervei engedélyeztek és jóváhagytak) hatása törvényszerűen érvényesült az utolsó kutatási év forrásgazdálkodásában. A költségvetés 2009-es főszámaiban megjelenő eltérések legfőbb oka – értelemszerűen – a kutatási projekt évi lebontású költségvetésében a korábbi években végrehajtott racionalizálás jelölhető meg. Mindenek előtt a 2009. évi költségvetés főszáma az eredetileg tervezett 1.901.000,- Ft-ról (a korábbi évek 789 eFt-os átcsoportosításával) 2.690.000,- Ft-ra módosult.

A teljes pénzügy időszakot figyelembe véve a 2009. december 31-én a pályázati költségvetés terv/tény relációjában 55.638,- Ft maradványi eltérés mutatkozott. A valós eltérés ettől lényegesen kevesebb volt, mert a jelzett összeg felhasználásra került, de a kutatóhelyi intézmény költségvetési rendjéből adódóan a fenti maradvány lekönyvelése 2010 januárjában volt lehetséges. A pályázati költségvetés részterületeit illetően a személyi juttatások összege (1. főtétel) 49.061,- Ft. eltéréssel teljesült, ami mindösszesen 3%-os módosulást jelent. Az 1. főtételen belül a legnagyobb eltérés az 1.2 rovaton jelentkezett. Ennek legfőbb oka az volt, hogy a tervezés időszakában az ilyen típusú kifizetéseket az egyéb megbízások rovatra terveztük, ahogy az a kifizetés szintjén pl. 2008-ban teljesült. A 2. költségvetési rovat terv/tény eltérése az időközben bekövetkezett jogszabályi változások hatására jelentkezett. A dologi kiadások (3. főtétel) teljes időszakra vonatkoztatott terv/tény eltérése 3,9%. Ennek elsődleges oka a tervezési időszakban még nem ismert áremelkedésekben található. Pl. a tervezett konferencia részvételi költségeket a repülőjegyek jelentős áremelkedése torzította. A dologi rovaton kényszerből bevállalt többletkiadásokat megtakarításokkal szinte teljes mértékben fedezni lehetett. Ez az átcsoportosítás nem csorbította a tervezett beszerzést, mert a költségvetés-tervezés időszakában az Acer TM 6292 listaára 450-550 eFt. között mozgott, beszerzéskor viszont lényegesen kedvezőbb (295 eFt) áron sikerült hozzájutni. A 3. ponton belüli legnagyobb pénzügyi módosításra a 3.2 és 3.3 rovatok relációjában kényszerültünk. A költségátcsoportosításnak komoly szakmai oka volt. A terv szerint megépített mikrohullámú kezelőtér validációja során ugyanis kiderült, hogy olyan mértékben inhomogén az elektromágnes kezelőtér térerő-eloszlása, hogy változtatás nélkül lehetetlenné teszi a 2009 őszére tervezett mikrohullámú kísérletek megbízható lefolytatását. Ezért a készletbeszerzés rovására külső céget kellett megbízni konstrukciós módosítására és kívánság szerinti műszeres áthangolására.

A fent részletezett költségfelhasználás szerint tehát a szükséges módosítások jelentéktelennek tekinthetők, ugyanakkor komoly hozadéknövekedést tettek lehetővé a kutatási eredményekben.

A kutatási eredmények rövid bemutatása

A szemcsés anyagokkal lefolytatott vizsgálatok (amelyek korábbi kutatásainkat egészítették ki) kimutatták, hogy konvektív körülmények között a száradó anyag nedvesség leadása szoros összefüggésben van annak morfológiai felépítésével. A

vízleadás intenzitása az embrió környékén a legnagyobb, a szárítás előrehaladtával a csirától távol lévő helyeken – a héj vízzáró tulajdonságának felerősödése következtében is – a felületi párolgás sebessége nullához közelít. A hőmérsékleti értékek a nedvesség adatokhoz képest fordított eloszlást mutattak. Mivel a párolgás hőmérsékletcsökkentő hatása annak intenzitásával fordított arányban van, a száradó anyag legnedvesebb részei a legkevésbé melegednek fel. A konvekciós szárítási eljárás során tehát a nedvesség először az anyag külső felületéről párolog el. A csökkenő száradási sebesség tartományában pedig a viszonylagos száraz felület következtében gyakran lokális túlmelegedés, zsugorodás és mechanikai sérülés lép fel. A fenti megállapítások valamennyi biológiai eredetű anyag szárításakor is kimutathatók.

A konvektív módon szárított szemek vízvesztési folyamatában a dehidráció intenzitása jellemzően inhomogén felületi eloszlást mutat. A nedvességleadás intenzitásának eloszlása tekintetében nem az eltávozó víz abszolút értéke a legfontosabb, hanem annak felületi disztribúciója. A komponens- és energia-eloszlás pontos kimutatásának – az elméleti megfontolásokon túl – gyakorlati jelentősége is van. A szárítmány megkívánt minőségi tulajdonságainak biztosításához ugyanis elengedhetetlen ismerni az alkalmazott vízelvonási technológia kedvező, vagy káros hatását. Konvektív szárításnál például ismert jelenség, hogy bizonyos technológiai paraméterek mellett csökken a szárítmány ezerszem-tömege, ami belső légzárványok keletkezését feltételezi. Ezek a nemkívánatos jelenségek a szárítás gyakorlatában megnövekedett törtszem arányban, illetve korlátozott tárolhatóságban jelennek meg. Valamennyi előzőekben vázolt szindróma pedig visszavezethető a vízelvonás során bekövetkező nedvesség és energia disztribúcióra.

Mikrohullámú energiaközléssel végzett vízelvonás esetén bizonyos hasonlóság tapasztalható a konvektív és a mikrohullámú száradási sebességek lefutása között. A mikrohullámú szárítás során is megállapítható, hogy a szemes termények szokásos betakarítási nedvességtartalma esetén a termény vízvesztési folyamata teljes egészében a csökkenő száradási sebesség tartományában található. Ugyanakkor az is felfedezhető, hogy mikrohullámú kezelés esetén, a száradási sebességgörbén – az alkalmazott fajlagos mikrohullámú teljesítmény értékétől függően más-más nedvességtartalomnál – töréspont található. Hasonló jelenség a konvektív szárításnál is tapasztalható, csak ott a törés nem ennyire markáns, helyileg pedig sokkal inkább a szárítás vége felé található.

A biológiai rendszerek vízvesztési folyamatának összetettsége és jelenlegi kutatottsága mellett a folyamat valósághű szimulálása félempirikus modellek alkalmazását igényli, annak ellenére, hogy az említett módszerek a szárítási zónát részleteiben nem vizsgálják. Ehelyett viszont megfelelő körülmények között alkalmasak a gyakorlati eredményeket jól közelítő technológiai paraméterek számítására.

Bihercz, G. – Beke, J. (2006): Módosított eljárás nedvességviszony-görbék szerkesztéséhez szemes termények konvektív szárításakor.

MTA AMB Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás Gödöllő, Vol.2. 272-276. p.

Bihercz, G. – Beke, J. (2006): Semi-empirical Model of Convective Drying with Wide Range Layer Depth Validity., *Drying Technology*, 24: 1165 - 1172. p.

Beke, J.- Bihercz, G.- Kurják, Z. (2007): Simulation of drying process of corn kernels during microwave and convective treatment.

Asia Pacific Journal of Chemical Engineering. Vol. 2. 75-82. p.

Beke, J.- Kurják, Z. (2008): Reducing the Energy Consumption of Seed-corn-cob Drying by Means of a Thermal Analysis Method.

Journal of Turkish Agricultural Engineering Association Vol.3.135-142. p

Beke J., Kurják Z. (2008): Improvement of Maize Seed Drying Process by Using Semi-empirical Model and Special Thermal Analysis, Mechanical Engineering Letters, Vol. 1. 37-49. p. ISSN 2060-3789, ISSN 2060-3797

Beke, J. (2009): Limits and Possibilities for Intensification of Grain Drying Technologies Mechanical Engineering Letters. Vol. 3. 40-53. p.

A mikrohullámú kísérleti berendezések fejlesztésének eredményeként megállapítható, hogy az ipari méretű üregrezonátorokban multimódusú, inhomogén nagyfrekvenciás tér jön létre. Ez egyben azt is jelenti, hogy a multimódusú tér struktúrája a rezonátor geometriai kialakításától is függ. A rezonanciafrekvenciák számának növekedésével a mikrohullámú térben állóhullámok keletkeznek, amelyek energiamaximumokat és – minimumokat hoznak létre. Az üregrezonátorban kialakuló energiakoncentráció intenzitása a rezonanciafrekvencia függvénye. A maximális intenzitás az alapl móduson alakul ki, a nagyobb rezonanciafrekvenciákon pedig elfajuló teljesítménykoncentrációk tapasztalhatók. Nyilvánvaló tehát, hogy a homogén elektromágneses teret az alapl módusú üregrezonátor képes biztosítani. Ugyanakkor a kezelendő anyag rezonátorba helyezésével az alapl módusú tér az esetek többségében multimódusúvá alakul.

Beke, J. – Ludányi, L. (2007): Microwave Drying of Biological Materials as Metrological Problem. IV. Asia Drying Conference, Hong Kong, China. Proceedings Vol.2. 961-966.p.

Kurják, Z.- Barhács, A. – Beke. J. (2010): Comparative Tests For Energetic Analysis of Apple, Potato and Onion Drying in a Microwave Field- IDS2010. Magdeburg, Germany. Elfogadott konferencia-előadás

A gyökér és gumós növények olyan, egymástól eltérő morfológiai jegyeket mutatnak, amelyek szárítási szempontból nem hagyhatók figyelmen kívül. Míg a burgonya edénnyalábjaianak felületi kicsatolásai kis elhanyagolással arányos eloszlásúnak tekinthetők, addig a gyökérnövények kambiumgyűrűi között elhelyezkedő parenchima rétegek viselkedése maga után vonja, hogy a nedvességpotenciál-gradiens nagy valószínűséggel a gyökértest hosszanti szimmetriatengelyébe esik.

Az alkalmazott mikrohullámú teljesítmény tartományban a gyökgumós növények vízleadása az egyenletes és a csökkenő száradási sebesség szakaszában valósult meg. Ebben a tekintetben nincs számottevő különbség a gyökeres és a gumós növények száradási folyamata között. A konvektív szárítási kísérletek során felvett szárításkinetikai görbék szerint a kezdeti felmelegedés után a száradási görbe jelentős szakasza egyenessel helyettesíthető. Mivel az egyenletes száradási sebesség szakaszában az anyag nedvességtartalma mindenhol meghaladja a kritikus értéket, praktikusán magas fajlagos energia-bevitel mellett lehet szárítani anélkül, hogy a száradási sebességet az anyag vízleadó képessége korlátozná. Mikrohullámú vízelvonás esetén a konvektív eljárásához hasonló, de attól lényegesen meredekebb szárításkinetikai görbéket kaptunk. Egyértelmű, hogy az egységnyi bevitt energia a mikrohullámú hőközléskor hasznosul hatékonyabban. A mérési eredmények szerint a szárítás előtt a gyökgumós növények belső nedvességeloszlása közel homogén, leszámítva, hogy a felületi nedvességtartalomra hatással vannak a klimatikus és az előtárolási jellemzők is. A hosszirányú vízeloszlásra jellemző, hogy a szárítási folyamatban a koronától távolodva fokozatosan csökken a nedvességtartalom. Ez részben morfológiai, részben felületi jelenségekre vezethető vissza. Összességében azonban a hosszirányú nedvességtartalom eltérés nem jelentős, ami a morfológiai hatások domináns voltára mutat. A

keresztirányú nedvességeloszlás ugyancsak a száradó anyag belső szerkezetének egyértelmű függvénye. A szárítás teljes tartományában a gyökér szimmetria tengelyében mutatkozik a legmagasabb nedvességtartalom és sugár irányban közel szimmetrikusan, csökken. Ezt a nedvességeloszlást csak igen kis részben okozza a felületi nedvességleadás, sokkal inkább visszavezethető a száradó anyag belső szerkezetére. A morfológiai dominanciát támasztja alá az alma és a burgonya belső nedvesség értékeinek száradás alatti alakulása is. Egyértelműsíthető, hogy a homogén anyagi struktúra gyakorlatilag homogén belső nedvességmezőt produkál. Ezen túlmenően a mikrohullámú kezelés stimuláló hatása is felfedezhető. A nedvességeloszlás kapcsán megfogalmazott hipotézist erősíti a belső hőmérséklet mező is. A konvektív és a mikrohullámú hőtérkép között inverzitás mutatható ki, ami a mikrohullámú energia hatásmechanizmusával magyarázható. A keresztirányú hőmérséklet eloszlás a nedvességtérkép közelített tükörképe. Bizonyíthatóan szoros, fordított arányú összefüggés van a nedvességtartalom és az anyaghőmérséklet között.

Beke, J. (2009): Energetic Analysis of Tubers Drying.

Hungarian Agricultural Engineering. Vol. 23. 51-55. p.

Beke, J. – Szabó, I. – Fenyvesi, L. (2009): A biológiai környezet és a mezőgazdasági gépészet jellemző kölcsönhatásai. Gép. Vol. 3. 31-37. p.

Beke, J.- Kurják, Z. (2010): Possibilities for an Economically More Effective and Accelerated Drying Process of Tubers and Greens By Using Combined Energy Sources. Drying Technology. Accepted for publishing.

A vegetatív növényi részek két jellegzetes alkotója – a szár és a levél – egymástól szignifikánsan eltérő vízleadási tulajdonságokkal rendelkezik. de mindkét komponens víztelenítési folyamatában megfigyelhető a három jellegzetes szakasz. A technológiai paraméterektől függetlenül a szár rendelkezik hosszabb egyenletes szakasszal, amit annak kisebb fajlagos felülete, valamint a nedvesség belső áramlásának jellegzetessége magyaráz, továbbá, hogy a külső hámsejtek vízgátló réteggént viselkednek, a belső szállító edénynyalábok pedig a tengely irányú nedvességmozgást segítik. Hasonló okokkal magyarázható az is, hogy a szár maximális száradási sebessége szignifikánsan (mintegy 20%-al) alacsonyabb, mint ugyanaz a levélnél. Az átlagos száradási sebesség vonatkozásában kisebb eltérés tapasztalható, mivel a száradási folyamat végső szakaszában a nedvességtartalom-különbség fokozatosan kiegyenlítődik. Abból következően azonban, hogy a levelek fajlagos felülete és száradási sebessége nagyobb, a hagyományos mesterséges konvektív szárítás körülményei között e komponens túlszáradása nehezen kerülhető el, vagy a szárítás befejeztével a szárrészek víztartalma a megkívánt tárolási nedvességtartalom fölött marad.

A szárítás-kinetikai görbék lefutása a mikrohullámú és a konvektív energiaközlés mellett számottevő hasonlóságot mutattak, azonban nagyfrekvenciás erőterben rövidebbek a kezdeti és a végső lapos szakaszok, középen pedig nagyobb a görbék iránytangense. Ismerte a mikrohullámú energia hatásmechanizmusát az eltérő jelenségek magyarázhatók. Miután az energiaabszorpció arányos a száradó anyag nedvességtartalmával, továbbá a termikus hatás is ott jelentkezik, ahol az anyag vizet tartalmaz, mikrohullámú energiaközléskor a bevezetett energia felhasználás hatékonyabb. A szárrésznek a nedvességtartalom függvényében megszerkesztett kinetikai görbéje meredekebb, amiből következik, hogy a szár maximális száradási sebessége meghaladja a levél hasonló paraméterét.

Függetlenül az alkalmazott energiadózistól, illetve a kezelt növényfélésegtől a leveles zöldségek mikrohullámú szárítása során konzekvensen a szár mutat intenzívebb

vízleadási tulajdonságot. A tapasztalt jelenség legvalószínűbb oka egyrészt az, hogy a mikrohullámú energia abszorpciója következtében a hőmérséklet-gradiens – a konvektív hőátvitelhez viszonyítva – ellentétes irányú. Másrészt az energia elnyelődése nincs szoros összefüggésben a felületi energiaátviteli tényezővel, illetve a fajlagos felülettel. Emellett a felületi hámsejtek szigetelő hatása is kevésbé érvényesül. A belső hőfejlődés következtében a konvektív hőközléshez képest nagyobb a diffúziós gradiens, ezért a nedvességáramlás sebessége is megnő. Ez a folyamat csak úgy magyarázható, ha feltételezzük, hogy a belső intenzív nedvesség mozgás a szállító edénnyalábokban jön létre és – a dolog természeténél fogva – a szárból a levélbe áramlik, ami a szár gyorsabb, illetve a levél lassúbb száradását idézi elő. A magyarázat fizikailag teljesen megalapozott, hiszen a szárnak nincs, míg a levélnek van nedvesség utánpótlási forrása. A belső nedvességmozgásban, ilyenformán, a száradó anyag morfológiája meghatározó jelentőségű.

A vegetatív növényi részek konvekciós szárításakor a levél esetében nagyobb hő- és anyagátviteli sebesség alakul ki. Az egyenletes száradási sebesség szakaszában az energiafelhasználást jelző vonalak gyakorlatilag egymással párhuzamosan futnak.

A csökkenő száradási sebesség intervallumában egy egyenletesen csökkenő és egy hatványfüggvény szerint (aszimptotikusan) eső száradási szakaszra bontható. Azonos nedvességtartalmak bázisán mindhárom szakaszban a levél szárítása igényel kevesebb energiát, közel azonos mértékben. Az integrált növény szárításakor tehát a levelek rendszerint túlszáradnak, növelve a folyamat energiafelhasználását.

A mikrohullámú szárítás feltételei a vízelvonási szakasz kezdetén tapasztalható enyhén csökkenő energiafelhasználás magyarázata többféle lehet. Egyrészt bizonyos, hogy a fellemelegítési szakaszban nem teljesen homogén az abszorpció. A homogén nagyfrekvenciás tér kialakulását a „kamra-töltet” viszony is befolyásolja. Ha a felsorolt zavaró körülményektől eltekintünk, közel egyenletes (és a konvektív szárításhoz viszonyítottan alacsony) energiaigény regisztrálható. Természetesen a száradási folyamat végső szakaszában észlelhető energiaigény növekedésre hatással lehet a kísérleti berendezés kialakítása, de ez csak igen kis részben adhat magyarázatot a görbe emelkedésére. A növekvő energiafelhasználás főként a konverziós veszteségek rovására írható.

Az egyenletes száradási szakaszban a konvektív és a mikrohullámú dehidráció energiafelhasználásában nincs szignifikáns eltérés. A magas anyagnedvesség-tartalom lehetővé teszi az intenzív szárítást. Mindkét szárítási módban megfigyelhető, hogy az energiafelhasználást mutató görbesereg a jellemző száradási sebességgörbék ellentettjeként aposztrofálható. A mikrohullámú energia hatásmechanizmusából következően nem mutatható ki szignifikáns különbség a szár és a levél vízelvonási energiaigénye között. Összességében jól kivehető, hogy az alacsonyabb nedvességtartomány felé haladva a mikrohullámú és a konvektív szárítási eljárás fajlagos energiafelhasználásának értékebeli különbsége egyre jelentősebb.

Amikor a száradó anyag integrális nedvességtartalma 0,2 kg/kg körüli, a levelek és a szárrészek víztartalma közötti különbség olyan jelentős, hogy egyszerű mechanikai módszerrel a levél és a szárrészek különválaszthatók. Ez mind energetikai, mind pedig anyagminőségi szempontból előnyös. Felhasználva a szár és a levél eltérő vízleadási tulajdonságát a konvektív és a mikrohullámú víztelenítési eljárás megfelelő kombinációjával jelentősen csökkenthető a folyamat energiafelhasználása. Az anyagminőségi előnyök pedig egyrészt ott jelentkeznek, hogy a levél túlszárlásából

következő minőségvesztés elkerülhető, ugyanakkor a levélfrakciózás eredményeként kétféle és használati értékében eltérő végtermék állítható elő.

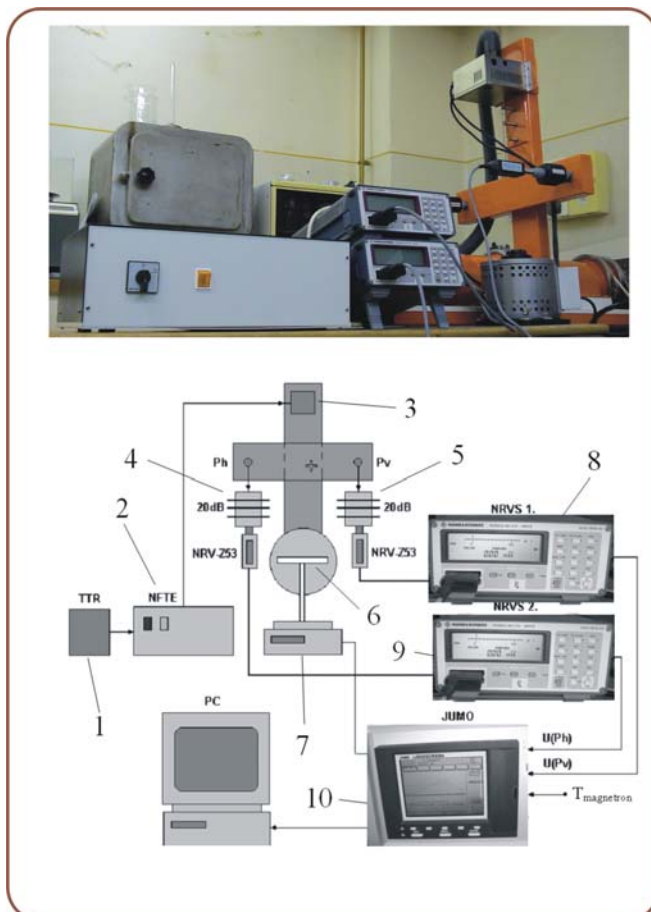
Kurják Z.- Beke J. (2007): Eltérő fizikai tulajdonságú zöldségfélék száradási jellemzőinek vizsgálata mikrohullámú és konvektív hőközléssel.

Lippay János - Ormos Imre - Vas Károly Tudományos Ülésszak Kiadványa, pp.130-131, Budapest, 2007. (ISBN 978-963-06-3350-5)

Beke, J.-Kurják, Z. (2009): Energy optimizing Process Analysis for Technological Development of Greens and Vegetable Drying. Proceedings of XII. Polish Drying Symposium. 312-316.p.

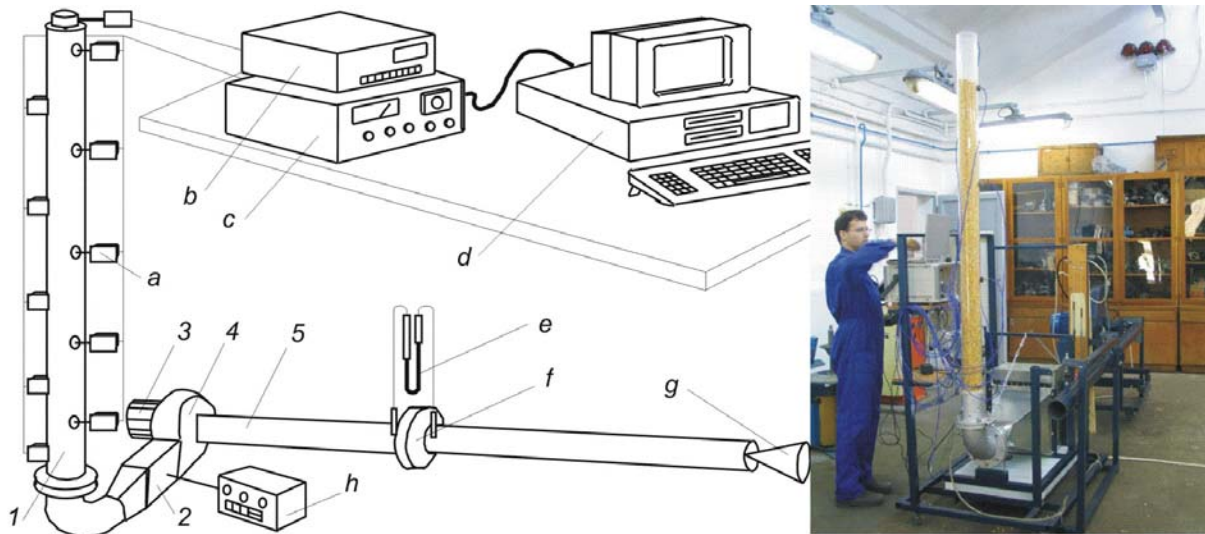
Beke, J.- Kurják, Z. (2010): Possibilities for an Economically More Effective and Accelerated Drying Process of Tubers and Greens By Using Combined Energy Sources. Drying Technology. Accepted for publishing.

Mellékletek



2. melléklet. Konvektív modellszáritó

1-mintatartó, 2-levegő melegítő, 3-villanymotor, 4-ventilátor, 5-mérőcső
a-hőelemek, b-harmatpontmérő, c-jelátalakító, d-számítógép, e-manométer, f-
mérőperem, g-fojtókúp, h-hőmérsékletvezérlő



3. melléklet.

XII PDS- publication in Drying Technology

Tárgy: XII PDS- publication in Drying Technology

Feladó: Polish Drying Symposium <pds@wipos.p.lodz.pl>

Dátum: Mon, 23 Nov 2009 10:30:05 +0100

Címzett: "J. Beke" <Beke.Janos@gek.szie.hu>

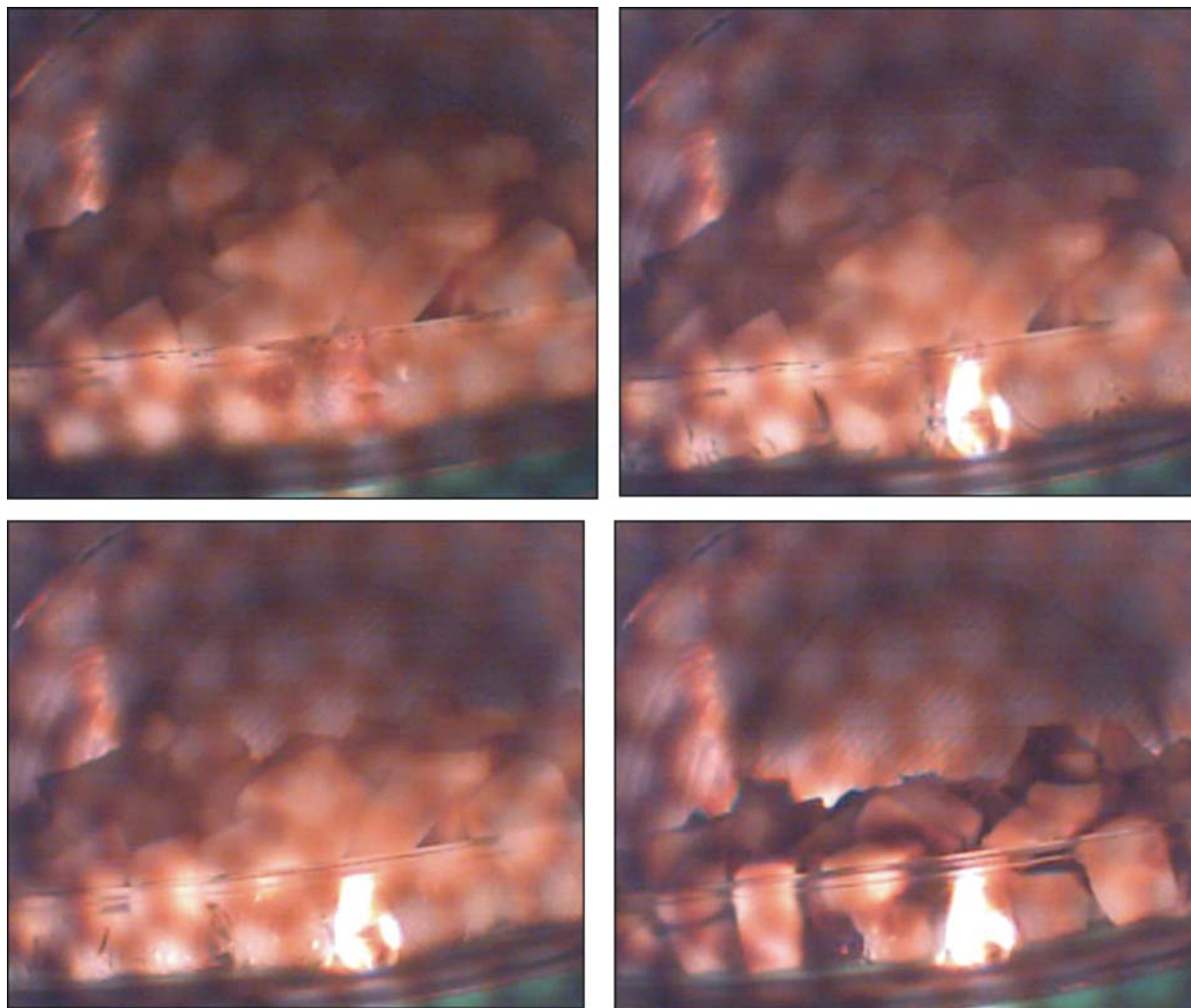
Dear Author,

On behalf of the Scientific Committee I have pleasure to inform you that your paper was selected for publication in Drying Technology. The paper has to undergo a usual peer-review process. The Scientific Committee will provide one review of your work. The other reviewer will be provided by the Drying Technology Editor. In this way your publication has a chance to be published earlier than in a normal procedure.

Please inform us if you agree to this way of publication of your contribution.

With best regards

Z. Pakowski
Scientific Committee



4. melléklet. Almaminták mikrohullámú dehidrációjának fázisai